Resonanzaufladung bei der R25/3

Neben vielen anderen Faktoren trägt vor allem die Auslegung des Ansaugtraktes bei Viertaktmotoren wesentlich zur Verbesserung des Gaswechsels bei. Durch das pulsierende Ansaugen und Ausstoßen der Gase wird bei jedem Motor sowohl im Ansaug-, als auch im Auslasssystem ein Schwingungsvorgang eingeleitet. Um eine bessere Füllung für ein gesteigertes Drehmoment und mehr Leistung zu erhalten, nutzen Konstrukteure diese Dynamik der angesaugten Luftsäule. Durch die Kolbenbewegung erfährt die Gassäule im Ansaugtrakt, abhängig von Drehzahl und Zylinderzahl, eine bestimmte Erregerfrequenz. Stimmt die Einlasssteuerzeit mit der Eigenfrequenz der Gassäule im Ansaugsystem überein (Resonanz), kommt es zu einem Aufladeeffekt durch Drucksteigerung. Die maximal erreichbare Steigerung des Drehmoments ist jedoch im Vergleich mit einer Aufladung durch Verdichter (Lader) wesentlich geringer und auch nur über einen relativ kleinen Drehzahlbereich wirksam. Zudem ist eine spezielle Konstruktion des Saugrohres (Schwingrohr) notwendig. Verglichen mit einer Gebläseaufladung kann aber mit relativ wenig konstruktivem Zusatzaufwand eine merkliche Leistungssteigerung erzielt werden.

BMW verwendete dieses Prinzip bereits in den 1950er Jahren bei Motorradmotoren. Bei der **R25/3** war das Ansaugrohr aufgrund der notwendigen Länge durch den Tank geführt. Es ergab sich eine Leistungssteigerung um 1 PS gegenüber dem Vorgängermodell R25/2, das dieses Schwingrohr nicht aufwies. Auch Bei vielen früheren Sport- und Rennmotoren verwandten die Konstrukteure diesen Trick zur Leistungssteigerung. Besonders gut sind die langen Schwingrohre beim 300SL von Mercedes-Benz zu sehen. Heute wird das Prinzip noch von Audi und BMW eingesetzt.

Wirkweise

Formel für die indizierte Motorleistung.

$$P_i = p_i \cdot V_h \cdot z \cdot n \cdot i$$

P_i = innere Motorleistung
p_i = indizierter Mitteldruck
V_h = Hubraum pro Zylinder
z = Zylinderanzahl
n = Drehzahl
i = Arbeitszyklen pro Umdrehung (also Zweitaktmotor 1 und Viertaktmotor 0,5)

Wie aus der Formel ersichtlich, lässt sich die Motorleistung P_i u. a. durch Anhebung des indizierten Mitteldruckes p_i, d. h. eine Aufladung, seigern. Die anderen Variablen V_h, z, n und i können ebenfalls zur Leistungssteigerung beitragen und lassen sich im Anwendungsfall in speziellen Grenzen verwirklichen. Eine Leistungssteigerung durch Anheben der Drehzahl n ist *praktisch* allerdings nur bis zu einer gewissen Grenze durchführbar.

Am Ende des Ansaugtaktes strömt die Gassäule mit hoher Geschwindigkeit dem sich schließenden Einlassventil zu. Das Gas wird dabei durch den immer kleiner werdenden Ansaugquerschnitt abgebremst, die träge Gassäule brandet regelrecht gegen das Ventil, staut sich auf und erhöht den Druck am Einlass, bis eine Rückströmung einsetzt. Damit ist der Schwingungsvorgang im Ansaugrohr eingeleitet. Am anderen Ende des Schwingrohres (bei der R25/3 am aufgesetzten Luftfilter) findet wiederum eine Reflexion statt. Nun öffnet sich das Einlassventil erneut und die Gassäule kann mit hohem Druck in den Zylinder eintreten vorausgesetzt, die Schwingung läuft in genau diesem Moment auf das Ventil zu.

Das heisst, bei der Resonanzaufladung wird die Motorleistung durch Nutzung der kinetischen Energie der im Ansaugtrakt strömenden Luft und der Schwingungen der Gas-Säule, die durch die diskontinuierliche Strömung angeregt werden, erhöht. Einfache Konstruktionen (wie bei der R25/3) saugen die Luft durch ein Rohr an, dessen Länge so bemessen ist, dass sich die im Rohr nachströmende Luft in dem Moment am Einlassventil zu stauen beginnt, in dem das Ventil öffnet. Die kinetische Energie der Luft wird so für eine Verbesserung des Füllungsgrades genutzt. Der Ladeeffekt wirkt jedoch nur in einem relativ schmalen Drehzahlband, und die Höchstleistung ist durch den Drosseleffekt des längeren Ansaugrohres begrenzt. Durch Ändern der Länge des Ansaugrohres kann die Aufladung aber in einem breiteren Drehzahlbereich erreicht werden, wobei auch die Drosselung des Motors bei hohen Drehzahlen verringert wird. Die Saugrohrlänge wird dabei entweder kontinuierlich oder durch Klappen verändert (Schaltsaugrohr). Im unteren Drehzahlbereich strömt die Luft durch den langen Ansaugweg. Die kurzen Saugwege sind durch die Klappen oder durch Drehschieber verschlossen. Bei hohen Drehzahlen werden die Klappen elektropneumatisch oder elektrisch geöffnet. Die Länge des Ansaugtraktes wird somit an die höhere Gaswechselfrequenz angepasst, und die kürzeren Ansaugwege ermöglichen auch einen höheren Gasdurchsatz.